

Методи і системи оптично-електронної та цифрової обробки сигналів

редовища. Вона дозволяє крім аналізу та синтезу БК ОЕС визначити можливість використання за конкретних обставин простих алгоритмів комплексування на рівні чутників (наприклад для медичних спостережень).

Для подальшого вдосконалення моделі з метою застосування її в більш складних алгоритмах комплексування необхідно розробити механізм врахування просторових параметрів зображень. У випадку розглянутого алгоритму це можна здійснити за рахунок вагових коефіцієнтів в формулі (1).

Література

1. Genderen J.L., Pohl C. Image fusion: Issues, techniques and applications. Intelligent Image Fusion // Proceedings EARSeL Workshop, Strasbourg, France, 11 September 1994. - Pp.18-26.
2. Pohl C., Genderen J.L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications // Remote Sensing, 1998. – Vol. 19. – №5. – Pp. 823-854.
3. Lallier E., Farooq M.A. Real Time Pixel-Level Based Image Fusion Via Adaptive Weight Averaging // 3rd International Conference on Information Fusion, Fusion 2000, Volume II, Paris, France, July 2000. – Pp. WeC3-3 – WeC3-10.
4. Jones, W. P. Air Conditioning: Applications and Design, 2nd ed., London, Arnold, 1997.
5. Incropera, F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 5th ed., John Wiley & Sons 2002.
6. Якушенко Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов, 5-е изд. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
7. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження (Підручник грифом Міністерства освіти і науки України). –К.: Політехніка, 2007.–344 с.
8. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. – М.: Советское радио, 1970. – 494 с.

Микитенко В.И., Котовский В.И. **Моделирование изображений в задачах комплексования каналов оптико-электронных систем.** Рассмотрен один из алгоритмов комплексирования информации в многоканальных иконических оптико-электронных системах и разработана упрощенная физико-математическая модель формирования оптического сигнала для анализа и синтеза таких систем.

Mykytenko V.I., Kotovski V.I. **Image modeling for information fusion in opto-electronic systems.**

One of algorithms of information fusion in the multichannel iconic opto-electronic systems is considered. Simplified physico-mathematical model of optical signal forming is developed for an analysis and synthesis of such systems.

*Надійшла до редакції
12 червня 2006 року*

УДК 628.9:535.24

ОПТИЧНА СИСТЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦЬ ФОТОМЕТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Гайворонська Г. О., Міхєєнко Л. А., Сокурєнко В. М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Представлений вибір та дослідження оптичної системи установки для калібрування

по спектральній густині енергетичної яскравості прецизійних цифрових відеосистем, що працюють у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру. Визначено оптимальне кутове положення оптичної системи згідно з аналізом аберацій

Вступ

Важливим елементом установок для калібрування та атестації прецизійних фотометричних пристроїв є оптична система (ОС) передачі розміру одиниці вимірювальної величини, наприклад, енергетичної сили світла або спектральної густини енергетичної яскравості (СГЕЯ), від еталона до робочих засобів вимірювання [1-5]. До таких систем висуваються жорсткі вимоги щодо якості сформованого зображення (рівномірності по робочій приймальній площі), неселективності в широкому спектральному діапазоні, часової та роз'юстувальної стабільності. В зв'язку з цим вибір ОС для кожного конкретного пристрою є доволі складною задачею.

Мета роботи полягає у виборі та дослідженні ОС споряджень для калібрування по СГЕЯ прецизійних цифрових відеосистем, що працюють у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру та потребують рівномірності розподілу плями отриманого зображення на вхідній щілині монохроматора.

Вибір та дослідження оптичної системи

Типовий варіант вимірювальної установки приведений на рис. 1. Випромінювання від робочого випромінювача установки та від еталону направляється комутатором по чергово на компаратор, що містить монохроматор та фотоелектричну головку. При цьому вхідна щілина монохроматора повинна бути оптично спряженою з випромінюючими ділянками робочого випромінювача та еталона проекційною ОС. Як комутатор може використовуватись система поворотних дзеркал, призм, а також поворот самої проекційної ОС тощо.

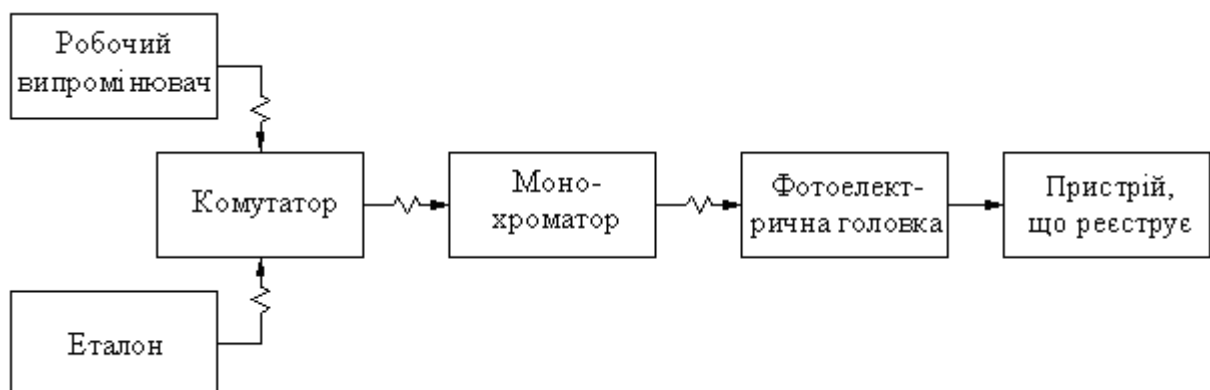
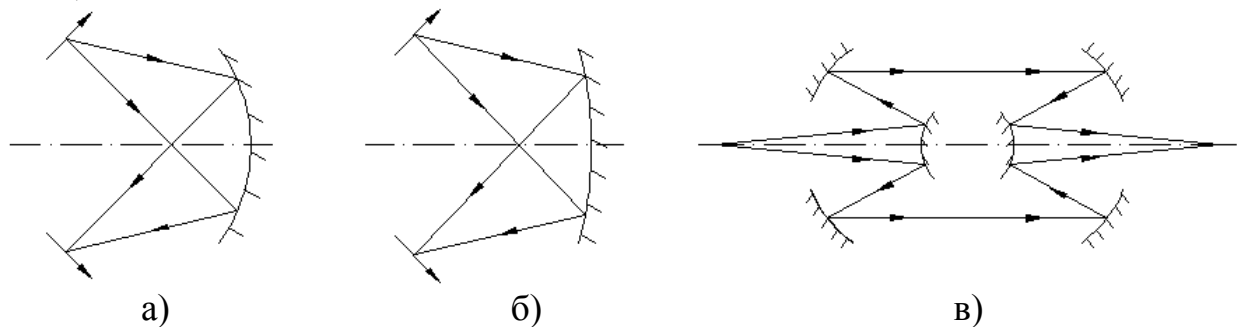


Рисунок 1 – Схема установки для переносу розміру одиниці СГЕЯ

На першому етапі роботи було виконано морфологічний синтез найбільш перспективних дзеркальних систем (рис. 2) за такими параметрами: габаритні розміри, мінімальні втрати випромінювання (на екранування), можливість виправлення аберацій, узгодження з оптикою монохроматора, компаратора, мож-

ливість зміни кутів променів при зміні конфігурації, можливість компоновки зі зворотнім ходом променів, можливість злому осей, вплив зміни кутів на аберації, внутрішні втрати на відбивання, стабільність внаслідок переміщення окремих елементів, неселективність, кількість поверхонь/заготівок, вартість, технологічні показники, можливість виготовлення, стійкість до зовнішніх впливів, зміна відбиваючої властивості з часом. Варіантом ОС, що набрала найбільшу суму балів виявилася схема Гершеля. Дещо гіршим є варіант з децентрованою схемою Гершеля, яка програє внаслідок складності виготовлення, юстування та неекономічності. По зазначеним параметрам значно відстає від попередніх складальна схема Касегрена, що робить її використання для систем, що розглядаються, недоцільним.



а – Гершеля зі сферичною поверхнею; б – Гершеля з параболічною поверхнею; в – Касегрена складальна

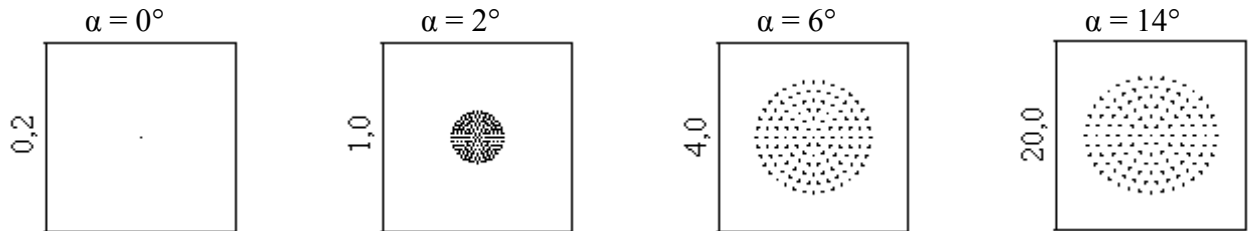
Рисунок 2 – Схеми проєкційних ОС

На другому етапі було розглянуто дві схеми Гершеля (зі сферичною та параболічною поверхнями) та виконано габаритний розрахунок цих схем. Вихідними даними габаритного розрахунку були фокусна відстань об'єктива 1400 мм, поле зору 7° , відносний отвір 1:6, спектральний діапазон довжин хвиль 0,4...1,8 мкм [5]. За цими даними з використанням спеціалізованої комп'ютерної програми «ZEMAX» був зроблений абераційний аналіз при кутовому положенні об'єктива відносно вимірювальної схеми $0^\circ \dots 14^\circ$ (з інтервалом 2°). Зокрема, в залежності від кута нахилу α проєкційного об'єктива було проаналізовано:

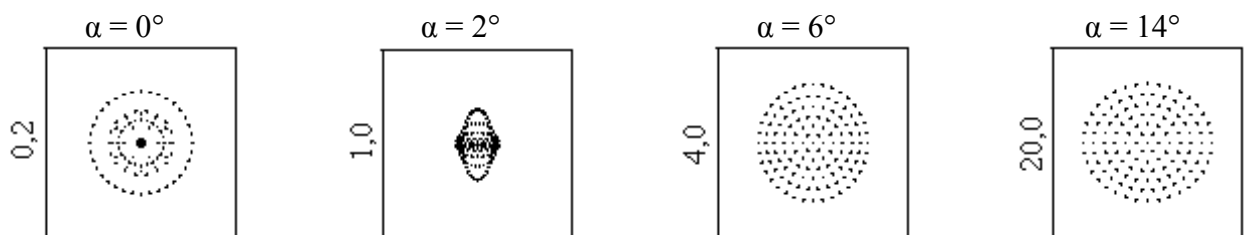
- точкові діаграми (середнє квадратичне значення (СКЗ) та асиметрія радіуса плями розсіювання);
- геометричний розподіл енергії випромінювання у плямі розсіювання (однорідність в меридіональній та сагітальній площинах);
- радіус плями розсіювання, в якій міститься 90% усієї енергії випромінювання, що формує отримане зображення (надалі: 90% ФКЕ – функції концентрації енергії).

На рис. 3 приведені точкові діаграми, на рис. 4 – графіки геометричного розподілу енергії випромінювання, на рис. 5 – графіки абераційного аналізу для сферичного та параболічного об'єктивів.

При абераційному аналізі маємо випадок геометрично обмеженої системи (кружок Ері знаходиться в межах абераційної плями), тому дифракційні втрати в приведеній ОС можна не враховувати. Точкові діаграми були отримані в площині найкращого встановлення.



а) для сферичного об'єктива:



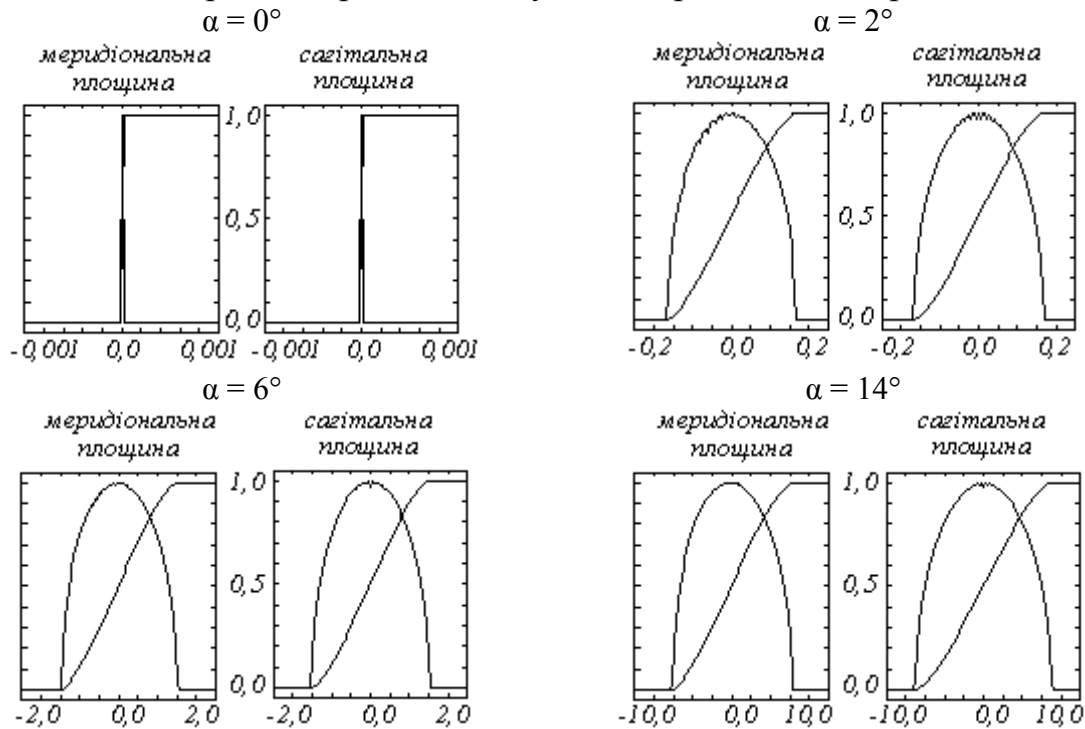
б) для параболічного об'єктива:

Рисунок 3 – Точкові діаграми (ліворуч вказано розмір сторони квадрата, мм)

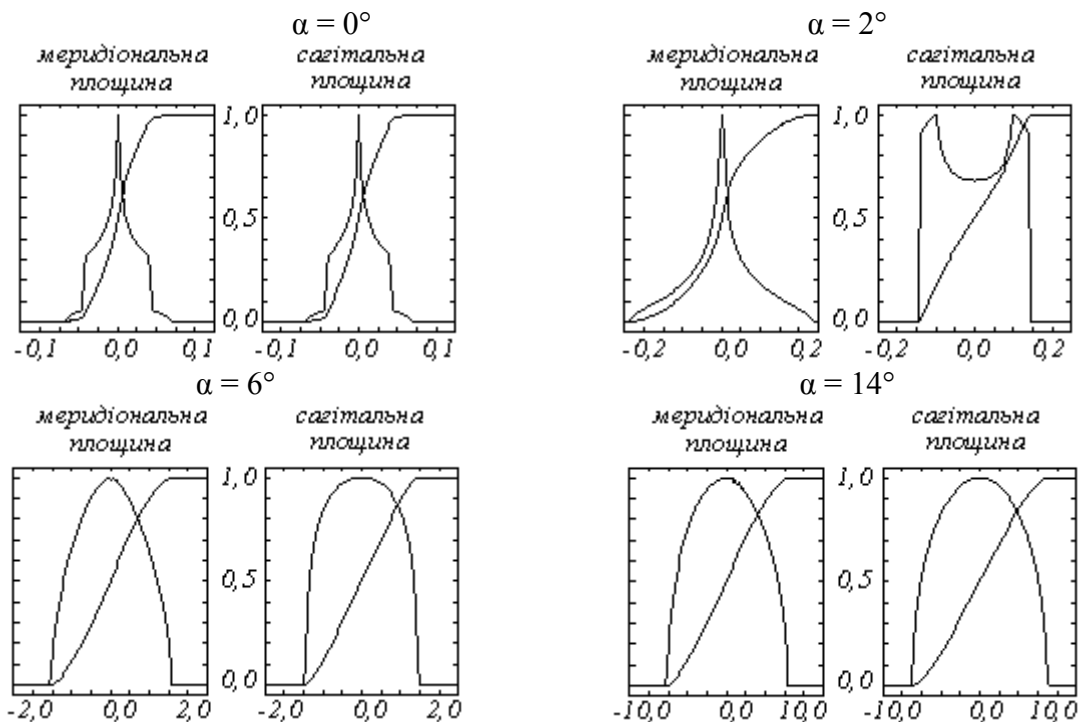
Для обох видів об'єктивів мінімальне СКЗ радіуса плями розсіювання спостерігається до 1 мм для кутів $\alpha = 0^\circ \dots 6^\circ$. Для кутів $\alpha = 8^\circ \dots 16^\circ$ обох об'єктивів ця величина значно збільшується до 7 мм (рис. 5а).

Асиметрія плями розсіювання була оцінена по гістограмі як відношення k горизонтального СКЗ радіуса плями розсіювання до вертикального СКЗ радіуса в залежності від кута нахилу α об'єктива. Якщо величина асиметрії k є близькою до 1, то зображення точкової діаграми схильне до округлої форми. З рис. 3, 5б видно, що якщо приймати до уваги асиметрію плями розсіювання, то сферичний об'єктив має кращу якість одержаного зображення. При куті $\alpha = 0^\circ$ обидва об'єктиви формують «ідеальне» зображення. Але, щоб на практиці площа предметів не збігалася з площиною зображень, необхідно передбачити додаткові робочі елементи. Це, в свою чергу, може внести додаткові аберації та ускладнити вимірювальну схему. Для параболічного об'єктива при кутах $\alpha = 2^\circ \dots 6^\circ$ величина k значно менше за 1, тобто зображення має чітко виражену еліптичну форму, що витягнута по вертикалі. Це можна пояснити тим, що коли від предмета надійшла сферична хвиля, то після відбиття від асферичної поверхні та з розходженням оптичних осей предмета та зображення, хвильовий фронт є більш спотворений, ніж у випадку зі сферичною поверхнею. Тому пляма розсіювання не є рівномірним сферичним зосередженням променів у площині сформованого зображення. Сферичний об'єктив при кутах $\alpha = 2^\circ \dots 6^\circ$ не спотворив сферичної форми отриманого зображення. При кутах нахилу $\alpha = 8^\circ \dots 12^\circ$ обидва об'єктиви створюють майже рівномірне по якості зображення, але розміри ра-

діуса плями розсіювання збільшуються зі збільшенням кута нахилу, а при куті $\alpha=14^\circ$ об'єктиви створюють трохи витягнуте по горизонталі зображення.



а) для сферичного об'єктива:



б) для параболічного об'єктива:

Рисунок 4 – Геометричний розподіл енергії випромінювання у плямі розсіювання: переріз функції розсіювання точки та гранична крива в геометричному наближенні (по вертикальній осі – розподіл енергії випромінювання, відн. од.; по горизонтальній осі – радіус плями розсіювання, мм)

З графіків геометричного розподілу енергії випромінювання залежно від кута нахилу α об'єктива (рис. 4) видно, що якщо розподіл енергії випромінювання в меридіональній та сагітальній площинах приймає однакову прямокутну форму, яка прагне витягнутись до максимального значення енергії випромінювання, то розподіл енергії випромінювання по плямі розсіювання є однорідним. При куті $\alpha = 0^\circ$ сферичний об'єктив утворює «ідеальне» точкове зображення, при таких же умовах параболічний об'єктив утворює світлову пляму зображення. При куті $\alpha = 2^\circ$ розподіл енергії випромінювання для сферичного об'єктива у меридіональній та сагітальній площинах майже однакової форми, але більше є схожим на трапеції, які наближаються до прямокутної форми (нахил бічних сторін цих трапецій наближається до 90°). Для параболічного об'єктива при куті $\alpha = 2^\circ$ складно назвати розподіл енергії випромінювання в меридіональній та сагітальній площинах схожим на прямокутники (спостерігається значне спотворення енергії падаючого випромінювання). При кутах $\alpha = 4^\circ \dots 14^\circ$ розподіл енергії випромінювання для сферичного об'єктива в меридіональній та сагітальній площинах однаковий за своєю формою. Зі збільшенням кута нахилу α об'єктива збільшується й розмір радіуса плями розподілу енергії (до 7 мм). Для параболічного об'єктива при куті $\alpha = 4^\circ$ розподіл енергії випромінювання в меридіональній площині є схожим по своїй формі на трикутник, а у сагітальній площині - на прямокутну форму, що свідчить про збільшення плями розсіювання по меридіональній площині та рівномірний розподіл у сагітальній площині. При кутах $\alpha = 6^\circ \dots 8^\circ$ розподіл енергії випромінювання в обох площинах наближається до однакової форми, легко можна простежити витяг розподілу енергії випромінювання до максимального значення енергії у сагітальній площині. При кутах $\alpha = 10^\circ \dots 14^\circ$ параболічний об'єктив утворює більш однорідний розподіл енергії випромінювання, але величина радіуса плями розсіювання збільшується до 7 мм.

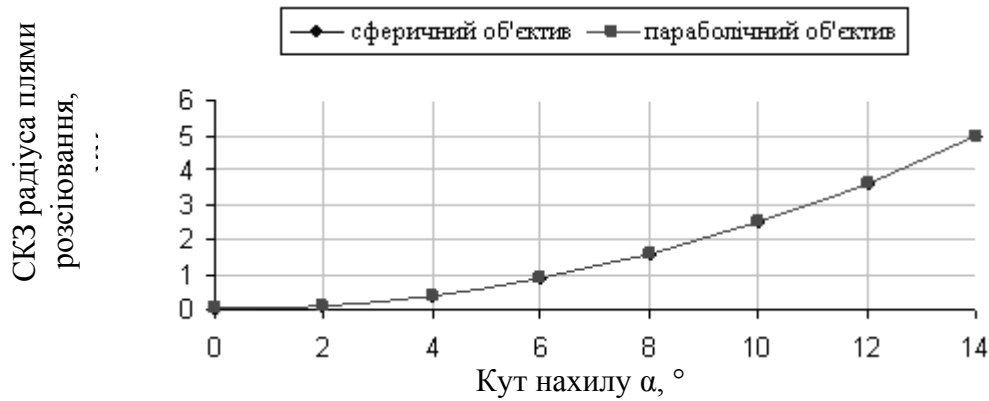
По графіку залежності радіуса плями розсіювання (90% ФКЕ) від кута нахилу α об'єктива (рис. 5в) при кутах нахилу $\alpha = 0^\circ \dots 2^\circ$ обидва об'єктиви створюють енергетично сконцентроване зображення. При кутах $\alpha = 4^\circ \dots 6^\circ$ радіус плями розсіювання (90% ФКЕ) для обох об'єктивів збільшується від 0,5 до 1,1 мм. При збільшенні кута нахилу α до 14° розмір радіуса плями розсіювання (90% ФКЕ) збільшується вже до 6 мм.

Радіус плями розсіювання (90% ФКЕ) більше СКЗ радіуса на 20%, що свідчить про добре сконцентроване та сфокусоване у центрі плями зображення.

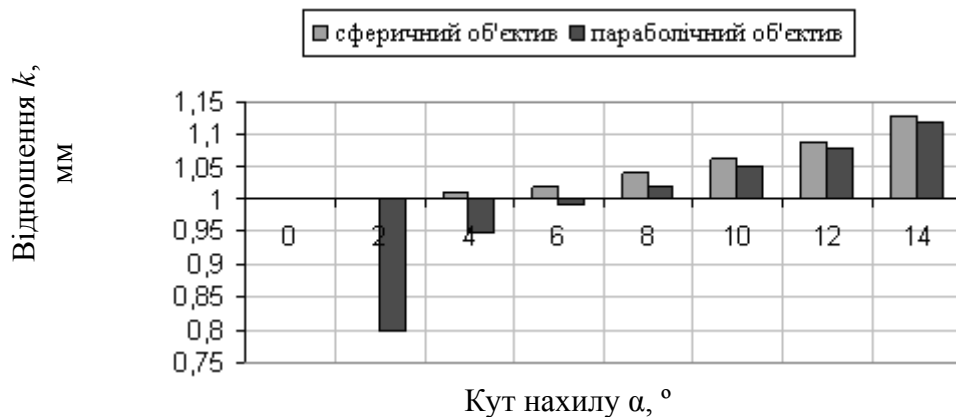
При кутах нахилу $\alpha = 2^\circ \dots 6^\circ$ сферичний об'єктив створює рівномірне та однорідне (якісне) зображення. Проте при збільшенні кута нахилу радіус плями розсіювання збільшується до 1 мм.

Параболічний об'єктив, формуючи зображення позаосьових точок з мінімальними значеннями геометричних аберацій, має кращу якість отриманого зображення лише для осесиметричних схем. Для позаосьових схем параболічна поверхня вносить більші геометричні аберації, ніж сферична.

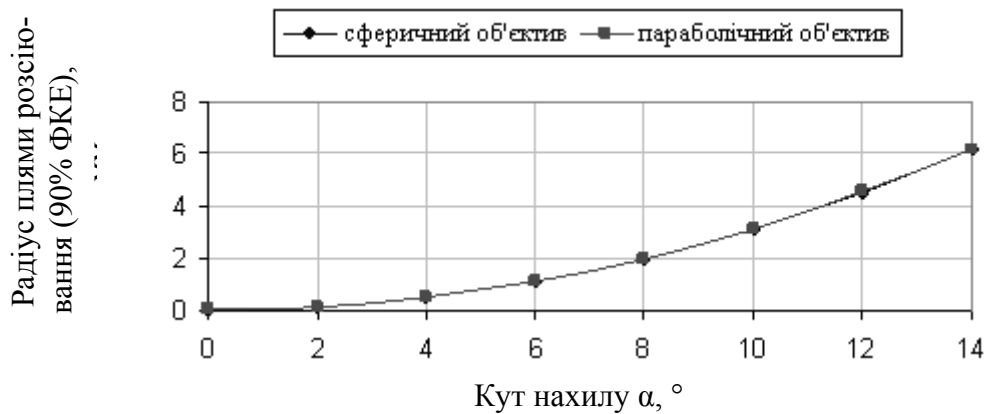
До того ж сферичний об'єктив проектує зображення з мінімальними геометричними абераціями при розташуванні предмету та зображення на однакових відстанях від об'єктива. Згідно з вищезазначеними критеріями (вимогами) оптимальним є кут нахилу сферичного об'єктива до 6° .



а) Залежність СКЗ радіуса плями розсіювання від кута нахилу α об'єктива



б) Залежність асиметрії плями розсіювання від кута нахилу α об'єктива



в) Залежність радіуса плями (90% ФКЕ) від кута нахилу α об'єктива

Рисунок 5 – Графіки абераційного аналізу

Висновки

Встановлено, що використання сферичного об'єктива за схемою Гершеля дає кращі результати при кутах нахилу $\alpha = 0^\circ \dots 6^\circ$, ніж використання параболічного (по створенню геометричної форми отриманого зображення, по рівномір-

ності і однорідності розподілу енергії випромінювання у плямі розсіювання, по технологічності та економічності виготовлення).

Отримані в цій роботі результати були використані при розробці системи передачі одиниці СГЕЯ установки для атестації оптичних скануючих пристроїв космічного базування та будуть корисні широкому колу розробників прецизійного фотометричного обладнання.

Подальша робота передбачає обґрунтування та вибір елементної бази та удосконалення ОС переносу СГЕЯ від різних еталонів.

Література

1. Котюк А. Ф. Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии / Под ред. Степанова Б. М. - М.: Атомиздат, 1979. - 138 с.
2. ГОСТ 8.195-89. Государственная поверочная схема для средств измерения спектральной плотности энергетической яркости в диапазоне длин волн 0,2 - 2,5 мкм, спектральной плотности силы излучения и спектральной энергетической освещённости в диапазоне длин волн 0,2 - 2,5 мкм.
3. Киселёв И.А., Коростелев А.Н., Караева М.К. и др. Контроль энергетических характеристик многозональных сканирующих устройств ИЗС «Ресурс 01» // Исследование Земли из космоса. - 1991. - №2. - С. 34 - 43.
4. Саприцкий В. И., Морозова С. П., Огарев С. А. и др. Обеспечение единства измерений величин, характеризующих некогерентное оптическое излучение // Измерительная техника. - 2005. - №11. - С.12-16.
5. Вариченко Л.В., Колобродов В.Г., Ладыка Я.Е., Микитенко В.И., Михеенко Л.А. - Методы и средства измерения энергетических характеристик оптико-электронных систем космического зондирования Земли // Космический вестник. - 2006. - №2. - С.41-49.

Гайворонская Г.А., Михеенко Л.А., Сокуренок В.М. **Оптическая система установки для передачи единиц фотометрических величин.**

Представленный выбор и исследование оптической системы установки для калибровки по спектральной плотности энергетической яркости прецизионных цифровых видеосистем, работающих в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Определено оптимальное угловое положение оптической системы согласно с анализом аберраций.

Gaivoronska G.A., Miheenko L.A., Sokurenko V.M. **Optical system of devices for passing of units of photometric quantities.**

The present paper presents choose and research of optical system of devices for calibration of spectral radiance density of precise digital video systems working of visible and near infrared region. Optimum rotate angle of position of optical system accordant aberration analysis at schemes of control devices for measurement have been defined.

*Надійшла до редакції
12 червня 2006 року*

УДК 535.36

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЮВАННЯ МОЛОЧНОГО І МАТОВОГО СКЛА

Михеенко Л.А., Коваленко А.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

У статті представлені результати експериментального дослідження характеристик